

SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

Pat nt Number: JP9129974
Publication dat : 1997-05-16
Inventor(s): TANAKA TOSHIAKI
Applicant(s): HITACHI LTD
Requested Patent: ☐ JP9129974

Application Number: JP19950280155 19951027

Priority Number(s):

IPC Classification: H01S3/18; H01L33/00

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a low-voltage indigo laser having low electrical contact resistance, which includes a contact layer of a nitride material having an increased concentration of p-type carriers.
SOLUTION: Layers 2 and 3 are grown on a sapphire substrate 1 by metal organic vapor phase epitaxy. Lithography and etching are carried out to form an insulating mask for selective growth, and layers 4-8 are selectively grown. Another insulating mask is formed and the layer 8 is selectively grown into a periodic regular pyramid with a hexagonal base. The resulting structure is furnished with p- and n-electrodes by deposition and cleaved in a direction perpendicular to the waveguide stripes. Since the contact resistance between the p-contact layer and the p-electrode is decreased, operating voltage can be decreased to 3.2-3.4V compared with 3.6V for convention devices, when injection current is 20mA.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 出願公開番号

特開平9-129974

(43) 公開日 平成9年(1997)5月16日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01S 3/18			H01S 3/18	
H01L 33/00			H01L 33/00	E

審査請求 未請求 請求項の数14 OL (全7頁)

(21) 出願番号 特願平7-280155
(22) 出願日 平成7年(1995)10月27日

(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(72) 発明者 田中 俊明
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子

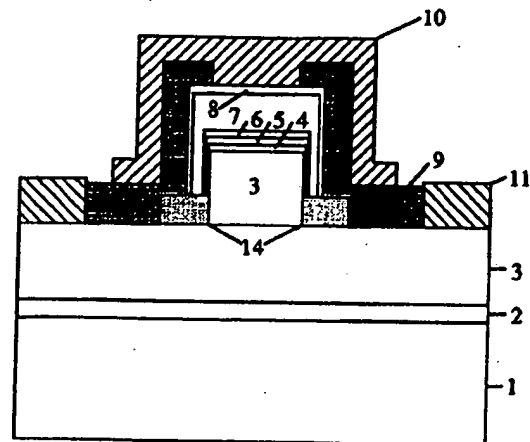
(57) 【要約】

【課題】 窒化物系材料においてp型キャリア濃度を向上させたコンタクト層を得るとともに、接触抵抗を低減する構造を設けることにより、素子抵抗や動作電圧を低減した青紫色波長領域で動作するレーザ素子を実現することにある。

【解決手段】 サファイア基板1上に、有機金属気相成長法を用いて、層3まで結晶成長する。次にリソグラフィとエッチングにより選択成長用絶縁膜マスクを形成し、層8まで選択成長する。さらに絶縁膜マスクを形成して、層8を正六角錐の周期的な形状として選択成長する。この後、p側とn側電極を蒸着し、導波路ストライプに垂直な方向で劈開する。

【効果】 p型コンタクト層とp側電極の接触抵抗が改善でき、注入電流20mA時の素子動作電圧を従来の3.6Vに対して3.2~3.4Vにまで低減できた。

図8



【特許請求の範囲】

【請求項1】単結晶基板上に設ける発光素子において、禁制帯幅の小さな発光活性層が禁制帯幅の大きな光導波層に挟まれた二重接合構造を有した半導体導波路構造に対して、導電性を有する該光導波層上に設けた、電極コンタクト層の形状を規定し、該コンタクト層には周期的な3次元形状を持たせてあり、電極とコンタクト層の接触面積をできるだけ大きくし、結晶構造の面方位をより多く含んだ3次元形状を設けてある該コンタクト層の表面が電極と直接接合していることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】請求項1記載の半導体レーザ素子において、該単結晶基板上に設ける導波路層及びコンタクト層を形成する半導体は、六方晶系Wurtzite構造を有しており、該コンタクト層の表面における周期的な3次元形状は六角柱または六角錐、或いは正確に正六角柱または正六角錐の形状により構成されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項3】請求項2記載の半導体レーザ素子において、該コンタクト層の表面における3次元形状は六方対称の形状を有しており、それらを形成する結晶面は{0001}C面、{1-100}M面、{1-101}S面、{11-20}A面、{1-102}R面及び{1-123}N面のすべてか或いはいずれかの結晶面の組合せによってなっており、それらの結晶面に囲まれた3次元形状が周期的に該コンタクト層の表面に設けてあることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項4】請求項1乃至3のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、該光導波層や該発光活性層及びコンタクト層はIII-V族窒化物系半導体材料からなり、AlGaIn材料を用いて構成してあることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項5】請求項1乃至4のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、p型の導電性を有する電極コンタクト層をGaIn結晶層により形成し、該p型GaInコンタクト層上に対して、上記六方対称の3次元形状を有しており、かつ構成する結晶面が{0001}C面、{1-100}M面、{1-101}S面、{11-20}A面、{1-102}R面及び{1-123}N面のすべてか或いはいずれかの結晶面の組合せを有した3次元形状が周期的に設けてあることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項6】請求項5記載の半導体レーザ素子において、該p型GaInコンタクトには、p型不純物ドーパによりp型キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に設定できていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項7】請求項5乃至6のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、該p型不純物としてMgをドーパしてあるp型光導波層やp型コンタクト層を有していることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項8】請求項2乃至7のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、該単結晶基板は六方晶系のWurtzite

構造を有した(0001)C面を有するサファイア($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)基板であるか或いは(0001)C面を有する炭化珪素($\alpha\text{-SiC}$)であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項9】請求項8に記載の半導体レーザ素子において、該単結晶基板が(0001)C面を有する炭化珪素($\alpha\text{-SiC}$)であるとき、その導電性はn型又はp型或いは半絶縁性であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項10】請求項2乃至9のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、該六方晶系Wurtzite構造基板上に該光導波路構造を設ける際に、導波路を形成する方向を該基板の{11-20}A面に平行であるか、或いはそれと垂直な{1-100}M面に平行となる方向に設定することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項11】請求項2乃至10のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、横モードを導波する構造として、活性層横方向に対して利得差を設けることにより導波光を伝搬する利得導波構造とするか、或いは活性層横方向に対して屈折率差を設けることにより基本横モードの導波光を安定に伝搬する、リッジストライプ或いは埋め込み(BH)構造による屈折率導波構造を有していることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項12】請求項11に記載の半導体レーザ素子において、該光導波路構造を構成する結晶層を絶縁膜マスクと選択成長技術により設け、矩形状断面のBHストライプ構造を選択成長により形成してあることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項13】請求項1乃至11のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記発光活性層は量子井戸層により構成した単一或は多重量子井戸構造であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項14】請求項12に記載の半導体レーザ素子において、該発光活性層は格子歪を導入した歪量子井戸層により構成した単一或は多重歪量子井戸構造であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光情報端末或は光応用計測光源に適する半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の技術では、青色領域の発光ダイオード素子に関して、素子構造の詳細が公知例1)アブライド・フィジックス・レター1994年、64巻、1687-1689頁(Appl. Phys. Lett., 64, 1687-1689(1994).)において述べられており、GaInN/GaN/AlGaIn材料を用いた光導波層や発光活性層が示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術では、窒化物系材料を用いた青色発光ダイオードにおける発光活性層や光導波層の全体構成について述べているが、電極と接触するコンタクト層については全く言及していな

い。また、発光素子の素子抵抗や動作電圧を大きくしている要因として、コンタクト層におけるp型キャリア濃度が低くp側電極とp型コンタクト層の接触抵抗が大きいことが挙げられ、素子抵抗や動作電圧が十分改善できていない。

【0004】本発明の目的は、窒化物系材料においてp型キャリア濃度を向上させたコンタクト層を得るとともに、p側電極からp型コンタクト層へ注入する正孔キャリアを実質的に増大して、接触抵抗を低減する手法を明記することにある。これにより、発光素子の抵抗や動作電圧を低減することにある。また、窒化物材料系からなる発光素子において、青紫色波長領域のレーザ動作を低抵抗でかつ低電圧で動作する素子を実現するものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための手段を以下に説明する。

【0006】本発明では、窒化物系半導体における電極との高い接触抵抗に対して、これまでその対策が不十分であった点を改善した。特に、p型窒化物半導体では電極との界面におけるショットキー障壁が大きく、その障壁を乗り越えてより多くの正孔キャリアを注入するためには、大きな印加電圧を必要とした。本発明では、p型半導体における擬フェルミレベルを高く設定して障壁をより小さくするために、高い正孔濃度が達成できるGaInM結晶層をコンタクト層として設けた。p型GaInNコンタクト層では、従来用いられていたp型GaM結晶層におけるよりも、p型不純物が浅い不純物準位を形成するので、活性化した正孔キャリアを発生しやすい。さらに、GaInNコンタクト層には、六方晶系Wurtzite構造がもつ六方対称のあらゆる結晶面を利用して正孔キャリアを注入するために、できるだけ表面に多くの結晶面を出した形状を設けておき、各結晶面を電極と接触させる。これにより、表面積を大きくして有効に活用できるとともに、種々の結晶面から正孔キャリアを注入し、また有効質量の軽い正孔をもつ特定の結晶面からキャリア注入することができるので、ショットキー障壁を乗り越える正孔キャリアの数を増大できる。より多くの正孔キャリア密度を電極からp型窒化物半導体へ注入することにより、電極との接触抵抗を低減し、素子の抵抗や動作電圧を減少させた発光ダイオード素子やレーザ素子の発光素子を実現する。

【0007】上述の本発明の手段は、従来のIII-V族窒化物系半導体材料で問題であった窒化物半導体と電極との接触抵抗を低減し、レーザ素子の低抵抗化と低動作電圧化を図るものであり、その作用は以下の通りである。

【0008】これまで、窒化物半導体であるGaM結晶層では、 $10^{19}/\text{cm}^3$ オーダの高いレベルに設定できなかったp型キャリア濃度を向上させるために、GaInM結晶層を用いてp型コンタクト層を形成する。p型GaInNコンタ

クト層では、p型不純物が浅い不純物準位を形成するので、活性化する正孔キャリアを増大できる。本素子では、 $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ までの範囲で任意に正孔キャリア濃度を設定できた。これにより、p型コンタクト層の擬フェルミレベルを高く設定して障壁をより小さくする。

【0009】さらに、p型コンタクト層において、六方晶系Wurtzite構造の六方対称結晶面を多くもつ3次元形状を設けておき、p側電極からショットキー障壁を乗り越えて各結晶面へ有効質量の異なる正孔キャリアを注入するようにする。例えば、図1や2に示すように、p型GaInN導波層の上にp型GaInNコンタクト層を設ける他に、選択成長技術を用いて、3次元形状の六角柱または六角錐、或いは正確な形状として正六角柱または正六角錐を周期的に設けたコンタクト層表面を作製する。或いは、図3や4及び5に示すように、ドライ加工技術によって、上記3次元形状や図5に示すさらに別の結晶面{11-20}A面を出した3次元形状を作製する。これらの3次元形状の結晶面は、六方晶系Wurtzite構造の{0001}C面、{1-100}M面、{1-101}S面、{11-20}A面、{1-102}R面及び{1-123}N面いずれかの結晶面の組合せによって構成されている。このような3次元形状を有したコンタクト層表面を導入することにより、p型コンタクト層とp側電極との接触表面積を増大できるとともに、有効質量の軽い正孔キャリアを種々の結晶面から注入し、ショットキー障壁を乗り越えて注入する正孔キャリア密度を増大できる。この結果、p型コンタクト層とp側電極の接触抵抗を低減し、 $1 \sim 5 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ のレベルに低く改善できた。また、素子抵抗は従来の $1/3$ から $1/8$ に低減するとともに、注入電流20mA時の素子動作電圧を従来の3.6Vに対して3.2~3.4Vにまで低減した。

【0010】本素子では、活性層横方向に対して屈折率差を設けることにより基本横モードの導波光を安定に伝搬する、リッジストライプ或いは埋め込み(BH)構造による屈折率導波ストライプ構造を設けた。特に、本発明のBH構造は選択成長により作製でき、基板に垂直でかつ平滑な側面と上面を有しているので、低損失な導波光の伝搬が可能であった。さらに、BH構造のレーザ素子では、電流狭窄効果も優れており、リッジストライプ構造の閾値電流に比べて、 $1/2$ から $1/3$ にまで低減できる低閾値動作を得た。

【0011】以上により、素子抵抗と動作電圧の低減を図るとともに、基本横モードの安定化を図ることができる屈折率導波ストライプ構造を導入することにより、素子の低閾値動作を達成した。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明の実施例について、図面を参照して詳細に説明する。

【0013】<実施例1>本発明の一実施例を図6により説明する。まず図6の(0001)C面を有するサファイア($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)基板1上に、有機金属気相成長法によりアン

モニア NH_3 を供給しながら温度 1000°C から 1200°C の範囲で基板を熱処理した後、温度 $450\sim 550^\circ\text{C}$ においてGa ν バッファ層2を成長し、温度 $1000\sim 1100^\circ\text{C}$ においてn型Ga ν 光導波層3、n型AlGa ν 光導波層4、アンドープAlGa ν 光分離閉じ込め層とアンドープGa ν 量子障壁層及びアンドープGaIn ν 量子井戸層からなる圧縮歪多重量子井戸活性層5、p型AlGa ν 光導波層6、p型Ga ν 光導波層7、p型GaIn ν コンタクト層8を設ける。この際、p型不純物には Mg を用いて有機金属化合物の形で導入した。p型光導波層6とp型光導波層7には、 $5\times 10^{17}\sim 2\times 10^{18}/\text{cm}^3$ の範囲で設定でき、p型コンタクト層8に対しては、 $5\times 10^{18}\sim 2\times 10^{19}/\text{cm}^3$ の範囲で設定できた。さらに、p型コンタクト層8には、図1と2に示す選択成長によるか、図3と4及び5に示すドライ加工によって、周期的な正六角柱または正六角錐、他に図5に示す3次元形状を設ける。次に、エッチング加工により、図6に示す結晶層の一部を層3に到るまで除去する。その後、絶縁膜9を設けて、窓領域ストライプ方向を該 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 基板1における(11-20)面と平行な方向に形成する。また、リソグラフィにより、p側電極10とn側電極11を蒸着する。最後に、光導波路ストライプに対して垂直な方向に基板を劈開することによって、図6に示す素子断面を得る。

【0014】本実施例によると、p型GaIn ν コンタクト層に対して、従来よりも一桁以上高い $10^{18}/\text{cm}^3$ オーダのキャリア濃度を設定できた。p型GaIn ν コンタクト層とp側電極の接触抵抗も、 $1\sim 5\times 10^{-2}\Omega\text{cm}^2$ にまで低い値に改善することが可能であった。これにより、本実施例の素子抵抗を $1/3$ から $1/8$ に低減するとともに、注入電流 20mA 時の素子動作電圧を従来の 3.6V から $3.2\sim 3.4\text{V}$ にまで低減できた。p型コンタクト層に設ける3次元形状は、結晶面の多い形状であるほど、p型GaIn ν コンタクト層とp側電極の接触抵抗をより低くでき、素子抵抗や動作電圧もより低い値を得ることが可能であった。本素子構造は、利得導波型のストライプ構造を有しており、室温においてレーザ動作が可能であった。本素子では、青紫色波長域の $410\sim 430\text{nm}$ 範囲でレーザ発振する素子を得た。

【0015】<実施例2>本発明の他実施例を図7により説明する。実施例1と同様に素子を作製し、層7まで設けた後、フォトリソグラフィとエッチングにより層6に到るまで層7を除去してリッジストライプを形成する。次に、絶縁膜マスクを利用して、n型Ga ν 電流狭窄層12を選択成長する。絶縁膜マスクを除去した後、p型Ga ν 埋め込み層13とp型GaIn ν コンタクト層8を設ける。この際、p型AlGa ν 光導波層6とp型Ga ν 光導波層7及びp型GaIn ν コンタクト層8には実施例1と同じレベルにp型キャリア濃度を設定でき、p型Ga ν 埋め込み層13に対しても $5\times 10^{17}\sim 2\times 10^{18}/\text{cm}^3$ の範囲で設定できた。p型GaIn ν コンタクト層8には、実施例1で

示した手法により、多くの結晶面で形成される3次元形状を設定した。次に、フォトリソグラフィとエッチング加工により、図7に示すように、リッジストライプ構造の両側を層3に到るまで除去する。その後、実施例1と全く同様に、図7に示す素子断面を得る。

【0016】本実施例によると、層12によって電流狭窄とともに、活性層横方向に対して実屈折率差を設けた屈折率導波構造を構成した素子を作製できているので、実施例1よりも低閾値動作の素子を得た。本素子の閾値電流は、実施例1に比べて、 $1/3$ から $1/5$ にまで低減できた。p型キャリア濃度のレベルに関しても、実施例1と同様に設定できた。素子抵抗や動作電圧に関しては、実施例1と同様な効果を達成した。本素子では、青紫色波長域の $410\sim 430\text{nm}$ 範囲で発振する素子を得た。

【0017】<実施例3>本発明の他実施例を図8により説明する。まず、実施例1や2と同様に、層3まで設ける。次に、フォトリソグラフィとエッチングにより、選択成長用絶縁膜マスク14を形成する。その後、n型Ga ν 光導波層3、n型AlGa ν 光導波層4、アンドープAlGa ν 光分離閉じ込め層とアンドープGa ν 量子障壁層及びアンドープGaIn ν 量子井戸層からなる圧縮歪多重量子井戸活性層5、p型AlGa ν 光導波層6、p型Ga ν 光導波層7、p型GaIn ν コンタクト層8を有機金属気相成長法により選択成長する。その後、実施例1や2と同様に、p型GaIn ν コンタクト層8上に、多くの結晶面で形成される3次元形状を設定した。さらに、絶縁膜9を形成して、リソグラフィにより、p側電極10とn側電極11を蒸着形成する。最後に導波路とは垂直な方向に基板を劈開することによって、図8に示す素子断面を得る。

本実施例によると、実屈折率差によって基本横モードを安定に導波するBHストライプ構造を作製できた。本素子では、実施例2の素子よりも、活性層横方向の屈折率差が大きくとれるので、導波光を安定に伝搬できる。さらに、電流狭窄効果も大きいので、低閾値動作が可能であった。閾値電流は、実施例2に比べて、さらに $1/2$ から $1/3$ にまで低減できた。p型キャリア濃度のレベルに関しては、実施例1や2と同様に設定できた。素子抵抗や動作電圧に関しても、実施例1や2と同様な効果を達成した。本素子では、青紫色波長域の $410\sim 430\text{nm}$ 範囲でレーザ発振する素子を得た。

【0018】<実施例4>本発明の他実施例を説明する。本実施例では、六方晶系Wurtzite構造であり基板面方位が(0001)C面であるn型の炭化珪素($\alpha\text{-SiC}$)を基板1として用い、その上にn型Ga ν バッファ層を設けて、実施例1から3までの素子を同様に作製する。

【0019】本実施例によると、実施例1から3におけるそれぞれの効果の他に、基板がn型の導電性を有するために、n側の電極は基板裏面に蒸着し、基板上下面に電流を通すことができた。これにより、チップ素子の組立時において、接合部を下にしたマウントが可能となる

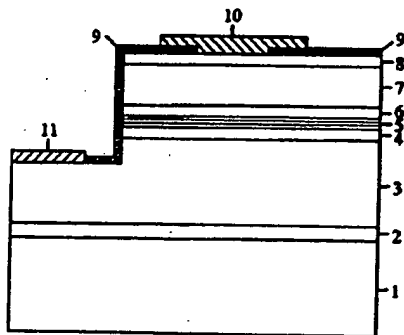
ので、放熱性を格段に向上できた。本実施例では、上記実施例よりも、高い温度で動作するレーザ素子を得た。

【0020】

【発明の効果】本発明では、特にIII-V族窒化物半導体材料において、高い正孔濃度が達成できるGaInN結晶層をコンタクト層として設けたことによって、p型半導体における擬フェルミレベルを高く設定して障壁をより小さくした。p型GaInNコンタクト層では、p型不純物が浅い不純物準位を形成するので、活性化した正孔キャリアを発生しやすく、正孔キャリア濃度を $5 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲で任意に設定できるようになり、従来よりも一桁近く最高キャリア濃度を向上できた。また、p型コンタクト層において、六方晶系Wurtzite構造の六方対称結晶面をできるだけ表面に多くもつ3次元形状を設けておき、p側電極と接触させる。これにより、p型コンタクト層とp側電極との接触表面積を増大するとともに、有効質量の軽い正孔キャリアを種々の結晶面から注入できるため、ショットキー障壁を乗り越えて注入する正孔キャリアの数を増大できる。これによって、p型コンタクト層とp側電極の接触抵抗を低減し、 $1 \sim 5 \times 10^{-8} \Omega \text{cm}^2$ の範囲にまで改善できた。また、素子抵抗を1/3から1/8に低減するとともに、注入電流20mA時の素子動作電圧を従来の3.6Vに対して3.2～3.4Vにまで低減した。本素子では、さらに実屈折率差によって基本横モードを安定に導波するBHストライプ構造を作製できた。これによると、活性層横方向の屈折率差が大きくとれるので、導波光を安定に伝搬できる。電流狭窄効果も大きいので、低閾値動作が可能であった。本素子は、室温において青紫色波長域の410～430nm範囲でレーザ発振した。

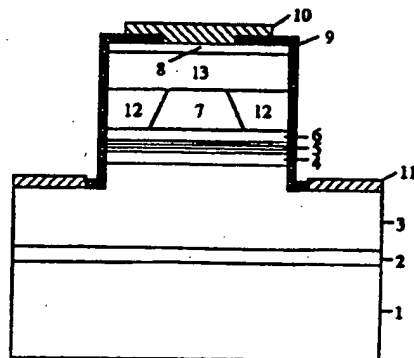
【図6】

図6



【図7】

図7



* 30 縁膜マスク。

* 【0021】本発明では、(0001)C面を有したWurtzite構造のサファイアや炭化珪素単結晶基板上に作製したAlGaInN半導体レーザ素子について説明したが、他の半導体材料系であるAlInGaAs/GaAs, AlGaInP/GaAs, GaInAsP/GaInAs/InP, AlInAs/GaInAs/InP等を用いた半導体レーザ素子に適用できることはいうまでもない。

【0022】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明におけるp型コンタクト層の選択成長構造を示す概略図。

【図2】本発明におけるp型コンタクト層の選択成長構造を示す他の概略図。

【図3】本発明におけるp型コンタクト層のエッチング加工構造を示す概略図。

【図4】本発明におけるp型コンタクト層のエッチング加工構造を示す他の概略図。

【図5】本発明におけるp型コンタクト層のエッチング加工構造を示す他の概略図。

【図6】本発明の一実施例における素子構造断面図。

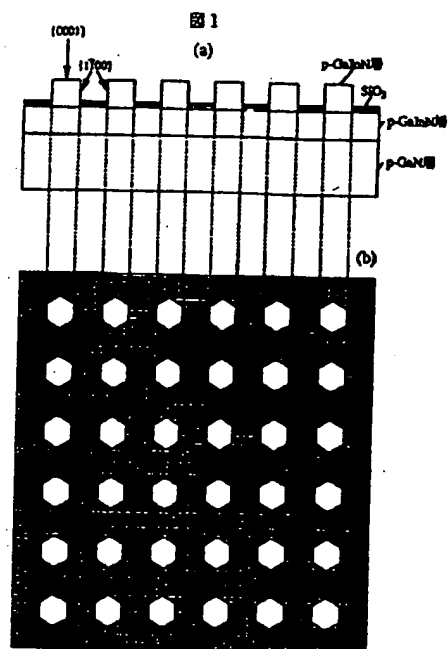
【図7】本発明の他実施例における素子構造断面図。

【図8】本発明の他実施例における素子構造断面図。

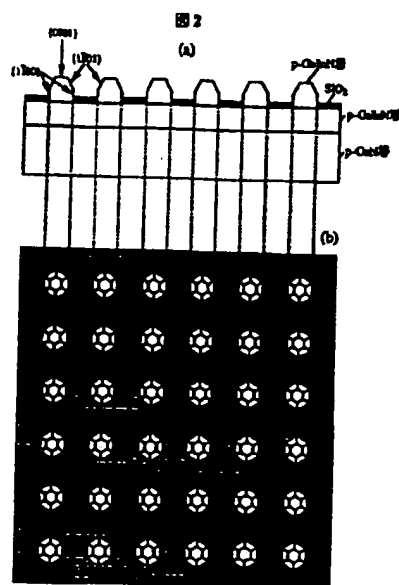
【符号の説明】

1…(0001)C面サファイア単結晶基板、2…GaInNバッファ層、3…n型GaIn光導波層、4…n型AlGaIn光導波層、5…GaInN/GaIn/AlGaIn圧縮歪多重量子井戸構造活性層、6…p型AlGaIn光導波層、7…p型GaIn光導波層、8…表面形状を有するp型GaInNコンタクト層、9…絶縁膜、10…p側電極、11…n側電極、12…n型GaIn電流狭窄層、13…p型GaIn埋め込み層、14…選択成長用絶縁膜マスク。

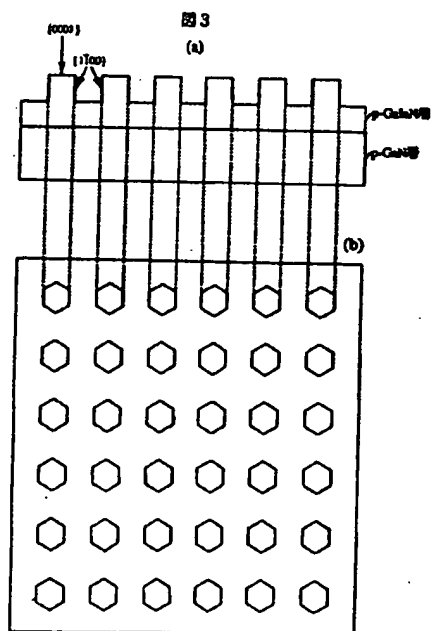
【図1】



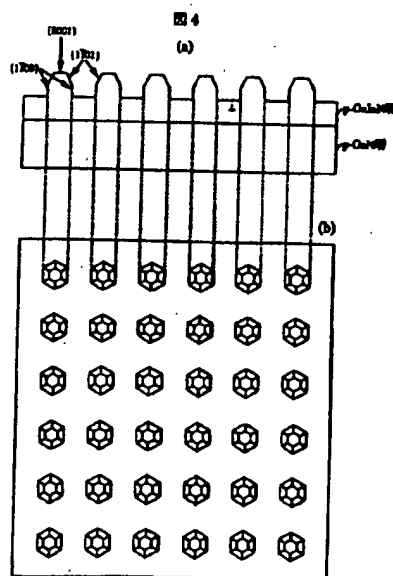
【図2】



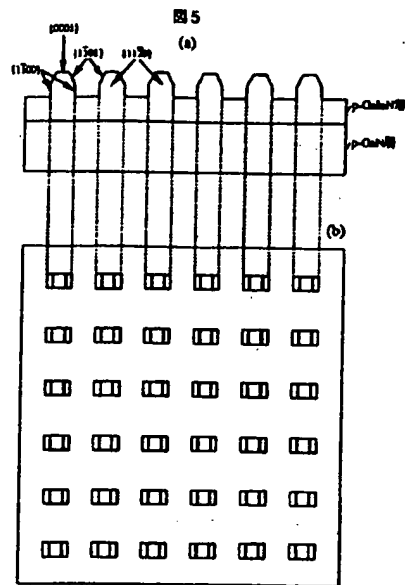
【図3】



【図4】



【図5】



【図8】

